

Title	Regulation of DNA replication by Cyclin-dependent kinase in fission yeast
Author(s)	福浦, 正義
Citation	
Issue Date	
oaire:version	
URL	https://hdl.handle.net/11094/59475
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed 大阪大学の博士論文について ご参照 ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏 名	福 浦 正 義
博士の専攻分野の名称	博 士 (理学)
学 位 記 番 号	第 2 4 8 8 3 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 23 年 9 月 20 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 理学研究科生物科学専攻
学 位 論 文 名	Regulation of DNA replication by Cyclin-dependent kinase in fission yeast (分裂酵母におけるサイクリン依存性キナーゼによる DNA 複製の制御)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 升 方 久 夫 (副査) 教 授 滝 澤 温 彦 教 授 篠 原 彰

論 文 内 容 の 要 旨

<背景と目的>

細胞が正常に分裂・増殖するためには染色体を一細胞周期あたり一度だけ正確に複製しなければならない。そのため、染色体複製の開始は細胞周期によって厳密に制御されている。CDK は細胞周期を制御する蛋白リン酸化酵素であり、この活性は染色体複製の開始に必要である。それゆえ、細胞周期に依存した染色体複製反応を理解するためには CDK による複製開始の制御機構を明らかにすることが重要である。

染色体複製は染色体上に存在する開始点と呼ばれる特定の領域から起こる。G1 期に DNA ヘリカーゼである Mcm2-7 が開始点上にロードされ pre-RC と呼ばれる複合体が形成される。S 期に入ると Mcm2-7 の活性化に必要ないくつかの複製因子が pre-RC 上に集合し、複製が開始される。これらの反応の中で、CDK は S 期の複製因子の集合に必要である。近年の出芽酵母の解析から、複製因子 Sld2 と Sld3 の CDK によるリン酸化が染色体複製の開始に必要であることが報告された。Sld2 と Sld3 はこのリン酸化により Dpb11 との相互作用が促進される。しかしながら、Sld2 や Sld3 のリン酸化がどのようにして開始点上での複製因子の集合を促進しているのかは明らかでない。また、多細胞動物種では Sld2 と Sld3 のような複製開始に必要な CDK の標的が発見されていないことから、Sld2 や Sld3 を介した CDK による制御が真核生物を通して保存されているのかはわかっていない。

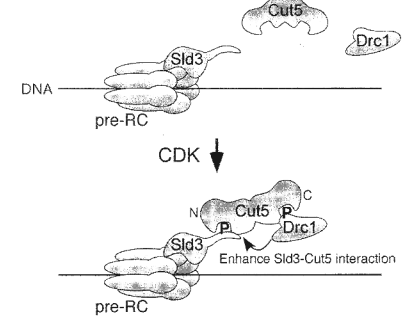
出芽酵母から進化的に離れた分裂酵母には Sld3 と Sld2 のホモログが同定されている。Drc1(分裂酵母 Sld2 ホモログ)は CDK にリン酸化されることが示されているが、このリン酸化の機能は明らかでない。また、分裂酵母 Sld3 が CDK の標的として働いているかは明らかでない。私は CDK による複製開始の制御機構を理解するために、分裂酵母をモデル生物に用いて Sld3 と Drc1 の機能を解析した。

<結果と考察>

分裂酵母 Sld3 の生体内でのリン酸化を調べたところ、Sld3 は S 期に CDK 依存的なリン酸化を受けることがわかった。酵母 Two-hybrid 法において、Sld3 は Cut5(分裂酵母 Dpb11 ホモログ)と pre-RC 構成因子の Mcm2 と相互作用した。Sld3 の CDK コンセンサス部位(CDK 部位)をアラニンに置換した

Sld3-9A は Cut5 との相互作用が特異的に低下した。Cut5 はリン酸化蛋白結合に働く BRCT モチーフを N 末と C 末に 2 つ持つ。Sld3 と Cut5 の相互作用領域を調べたところ、この相互作用は Sld3 の C 末 99 アミノ酸と Cut5 の N 末 BRCT モチーフを介していた。次に、生体内での Sld3 のリン酸化の機能を調べるために、分裂酵母 *sld3-9A* 株を作製した。この変異株は低温での増殖低下と S 期の遅延を示した。*sld3-9A* 株の複製因子の開始点結合を調べたところ、Sld3 の開始点結合は見られたが、Cut5 および Drc1 の開始点結合が大きく低下することがわかった。また、*sld3* 遺伝子の部分欠失株の解析から、Sld3 の Cut5 との相互作用領域(C 末 99 アミノ酸)は生育に必須であること、この領域を欠いたものと Cut5 を融合することで生育可能になることがわかった。これらの結果より、Sld3 と Cut5 の相互作用は生育に必須であり、Sld3 の CDK によるリン酸化は Cut5 の開始点結合を促進すると考えられる。

興味深いことに、*sld3-9A* 株の生育欠損は Drc1 の過剰発現により抑制された。このことから、Sld3 と Drc1 がともに Cut5 の開始点結合に機能する可能性が考えられた。出芽酵母 Sld2 の Thr84 は CDK の必須の標的である。この部位は分裂酵母 Drc1 の Thr111(T111)に保存されており、マスマスペクトロメトリ解析から生体内で T111 がリン酸化されることがわかった。T111 のリン酸化が複製に機能するかを調べるために T111 をアラニンに置換した *drc1-T111A* 株を作製したところ、この変異株は複製開始の欠損を示し致死となった。さらに、Drc1 の T111 のリン酸化は Cut5 の C 末 BRCT モチーフとの相互作用に必要であること、S 期における Cut5 の開始点結合に必要であることがわかった。これらのことから、Cut5 の開始点結合にはリン酸化された Sld3 と Drc1 がそれぞれ別々の BRCT モチーフに結合することが必要であると考えられた。酵母 Three-hybrid 法を用いてこの可能性を調べたところ、Sld3 と Drc1 は Cut5 と三者複合体を作ること、この複合体の形成に Sld3 と Drc1 の両方の CDK 部位が必要であることがわかった。さらに、Drc1 が Sld3 と Cut5 の相互作用を促進することが示唆された。以上の解析から、分裂酵母において CDK は Sld3-Cut5-Drc1 複合体の形成に必要であり、この複合体形成を通して開始点上の複製因子の集合を制御すると考えられる。また、この研究結果は CDK に依存した複製開始機構が分裂酵母と出芽酵母に保存されていることを示す。



Fukuura, M., Nagao, K., Obuse, C., Takahashi, T.S., Nakagawa, T., and Masukata, H. (2011). CDK promotes interactions of Sld3 and Drc1 with Cut5 for initiation of DNA replication in fission yeast. *Mol Biol Cell* 22, 2620-2633.

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

あらゆる生物は固有の遺伝情報をもとに生命反応を営み、その遺伝情報を個体から個体へと正確に継承することにより生命の連続性が維持される。真核生物では遺伝子情報を担う染色体 DNA が細胞分裂周期の S 期にただ 1 回だけ正確に複製されることが必要である。膨大な情報を含む染色体 DNA を限られた時間内に複製するため染色体上には多数の複製開始点が存在し、それぞれが固有の時期に複製を開始するように細胞周期によって制御されている。とりわけ、細胞周期制御の主要キナーゼであるサイクリン依存キナーゼ CDK が複製開始に必須であることが真核生物に共通している。

申請者は、CDK キナーゼによるリン酸化に依存して誘起されるタンパク質間相互作用に着目

して、真核生物染色体 DNA の複製開始反応が細胞周期によって制御されるしくみを明らかにする研究を行った。真核生物のモデル系として有用な分裂酵母 *Schizosaccharomyces pombe* を用いて、複製必須因子である Sld3 が CDK キナーゼにより S 期にリン酸化されることを示し、そのリン酸化が Sld3 と Cut5（出芽酵母では Dpb11、ほ乳類では TopBP1 という）との相互作用に必要であることを示した。さらに Cut5 が複製開始点に結合するためには、CDK がさらに Drc1 というタンパク質をリン酸化し、このリン酸化は Drc1 と Cut5 を結合させるとともに、Sld3-Cut5 の相互作用をも促進することを見いだした。申請者の研究成果により、出芽酵母やほ乳類での研究と合わせて鑑みるに、真核生物における複製開始複合体形成における CDK の役割は保存されていることを示唆している。これらの結果を学位論文「分裂酵母におけるサイクリン依存性キナーゼによる DNA 複製の制御」としてまとめた。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分に価値があるものと認める。